

汽车制造工艺学

(机械加工工艺)

主 编:黄家骏

副主编:张兆怀 胡雪晴

湖北科学技术出版社

汽车制造工艺学

(机械加工工艺)

主 编 黄家骏
副主编 张兆怀 胡雪晴

湖北科学技术出版社

汽车制造工艺学

© 黄家骏 主编

策 划：赵守富 责任编辑：黄新明 刘 琼

封面设计：雷汉林

出版发行：湖北科学技术出版社
地 址：武汉市武昌东亭路2号

电话：6812508
邮编：430077

印 刷：湖北省新华印刷厂附属厂印刷

邮编：430034

787×1092mm 16开 23.5印张
1995年7月第1版

560千字
1995年7月第1次印刷

印数：1—3000 ISBN7—5352—1718—4/u·7

定价：23.50元

本书如有印装质量问题 可找承印厂更换

前 言

我国汽车工业已经成为国民经济的支柱产业。为了适应汽车工业的发展和高等职业技术教育汽车制造专业的教学需要,在中国汽车工业总公司教育培训部的支持下,中国汽车工程学会技术教育分会专业委员会组织有关人员编写了这本《汽车制造工艺学》(机械加工工艺)。《汽车制造工艺学》是高等职业技术教育汽车制造专业的主干专业课教材,也可作为高等专科学校、职工大学、电视大学及中等专业学校汽车制造专业的教材,并可供从事汽车制造机械加工专业的工程技术人员参考。

本书主要内容分为汽车制造机械加工工艺的基本理论和汽车典型零件加工工艺分析两部分。基本理论部分包括:汽车制造机械加工工艺规程与装配工艺规程的制订;机械加工精度及表面质量;工艺尺寸链与装配尺寸链;机械加工生产率等。典型零件加工工艺部分主要介绍了汽车产品常见典型零件(如曲轴、气缸套、气缸体、变速器壳体、活塞、连杆、转向节、圆柱齿轮等)的加工工艺和加工方法。

为突出高等职业技术教育的特点,本书强调实践性与应用性。其内容密切联系我国汽车制造机械加工的实际情况,以成批、大量生产的工艺为主,兼顾中、小批生产的特点,将我国汽车制造行业主要生产厂家的实际生产经验写进了教材,对汽车典型零件的加工工艺中关键工序或主要加工技术问题进行了分析。国内主要汽车生产厂家近年来应用的先进工艺、先进设备、新技术在本书中也有一定反映。另外,还对现代汽车制造机械加工技术的发展作了简明扼要的阐述,以扩大视野,开阔思路。本书编写过程中贯彻了国家最新标准。为了便于读者查阅,将常用的工艺设计资料作为附表编列书后。

本书由北京市汽车工业总公司培训中心黄家骏任主编,张兆怀、胡雪晴任副主编。第一章和第十一章由黄家骏编写;第二章由徐爱熙(潍坊柴油机厂)编写;第三章和第九章由张兆怀编写;第四章由高解球(东风汽车公司湖北汽车工业学院)编写;第五章由胡雪晴编写;第六章和第十章由刘殿志(一汽集团职工大学)编写;第七章由王志泉(湖南机械工业学校)编写;第八章由祖英纯(潍坊柴油机厂)编写。本溪市机械工业学校杨玉坤、宁成树也参与了本书的部分编写工作。全书由中国汽车工业总公司邱荣勤主审。

限于编者水平,加之编写时间匆促,书中难免会有缺点、错误,恳请读者批评指正。

编 者

1995年6月

目 录

第一章 机械加工工艺规程的制订	(1)
第一节 概述	(1)
第二节 机械加工工艺规程的编制	(6)
第三节 零件图样的分析	(11)
第四节 毛坯的选择	(14)
第五节 工件加工中的定位及定位基准的选择	(16)
第六节 机械加工工艺路线的拟定	(26)
第七节 加工余量的确定	(32)
第八节 工序尺寸及其公差确定	(36)
第九节 机床、工艺装备、切削用量及其它参数的选择	(47)
第二章 轴类零件的加工	(53)
第一节 概述	(53)
第二节 轴类零件外圆表面的车削加工	(56)
第三节 轴类零件外圆表面的磨削加工	(60)
第四节 外圆表面的光整加工	(66)
第五节 轴类零件的花键与螺纹加工	(70)
第六节 典型轴类零件加工	(75)
第三章 套类零件加工	(92)
第一节 概述	(92)
第二节 套类零件的内孔加工方法	(93)
第三节 套类零件内孔的精密加工	(99)
第四节 典型套类零件的加工工艺分析	(102)
第四章 箱体零件加工	(109)
第一节 概述	(109)
第二节 箱体零件的平面加工	(113)
第三节 箱体零件的孔系加工	(117)
第四节 变速器壳体加工	(125)
第五节 发动机缸体加工	(137)
第五章 圆柱齿轮加工	(150)
第一节 概述	(150)
第二节 齿坯加工	(153)
第三节 圆柱齿轮的齿形加工	(155)
第四节 圆柱齿轮加工工艺分析	(174)
第六章 汽车其它典型零件加工	(180)
第一节 活塞加工	(180)
第二节 连杆加工	(194)
第三节 转向节加工	(208)

第七章 机械加工精度	(215)
第一节 概述	(215)
第二节 工艺系统的几何误差	(217)
第三节 工艺系统受力变形引起的加工误差	(222)
第四节 工艺系统热变形引起的加工误差	(233)
第五节 工件残余应力引起的误差	(237)
第六节 提高加工精度的措施	(239)
第七节 加工误差的统计分析	(241)
第八章 机械加工表面质量	(260)
第一节 概述	(260)
第二节 影响机械加工表面粗糙度的因素	(263)
第三节 影响表面物理力学性能的工艺因素及提高物理力学性能的工艺措施	(266)
第四节 机械加工中的振动	(270)
第九章 机械加工的生产率和经济性	(279)
第一节 时间定额	(279)
第二节 缩短单件时间定额	(281)
第三节 成组技术	(284)
第四节 计算机辅助制造	(292)
第五节 机械加工自动化	(301)
第十章 汽车装配工艺基础	(310)
第一节 概述	(310)
第二节 装配精度和装配方法	(314)
第三节 装配尺寸链	(317)
第四节 装配工艺规程的制订	(329)
第五节 汽车装配工艺简介	(332)
第十一章 特种加工	(340)
第一节 电火花加工	(340)
第二节 电解加工与电解磨削	(345)
第三节 其它特种加工方法	(348)
附表	(351)
主要参考文献	(370)

第一章 机械加工工艺规程的制订

第一节 概述

一、汽车的生产过程

汽车的生产过程是指将原材料转变为汽车产品的全过程。它包括原材料的运输与保管，生产准备，毛坯制造，零件的机械加工与热处理，部件与产品的装配、检验、油漆和包装等。

为了降低成本和提高劳动生产率，现代汽车工业的发展趋势是组织专业化生产，即一种产品的生产分散在若干个专业化工厂进行，最后集中由一个工厂制成完整的汽车产品。如毛坯制造厂专门生产铸件和锻件等毛坯，发动机厂生产发动机，橡胶厂生产轮胎及其它橡胶制品，齿轮厂生产变速箱、分动箱，车身厂生产车身、车厢……，一个工厂只完成汽车生产过程的一部分，最后由总装厂装成汽车。

二、汽车零件机械加工工艺流程及其组成

(一) 工艺流程

生产过程中，那些改变生产对象的形状、尺寸、相对位置和性质等，使其成为成品或半成品的过程称为工艺流程。图 1-1 所示为汽车的工艺流程。从图中可以看出，它包括毛坯制造（铸造、锻造、粉末冶金、冲压、塑料成型等）、机械加工、热处理、焊接、铆接、电镀、部件装配、油漆、内饰和总装配等过程。

采用机械加工的方法，直接改变毛坯的形状、尺寸和表面质量等，使其成为零件的过程称为机械加工工艺过程。

(二) 机械加工工艺过程的组成

机械加工工艺过程是由一个或若干个顺序排列的工序组成的，而工序又可分为安装、工位、工步和走刀。

1. 工序 一个或一组工人，在一个工作地对同一个或同时对几个工件所连续完成的那一部分工艺流程，称为工序。当加工对象（工件）更换，或设备和工作地变更，或完成工艺工作的连续性有所改变时，则形成另一个工序。如图 1-2 所示的阶梯轴，当加工数量较少时，其工序划分如表 1-1 所示；当加工数量较多时，其工序划分如表 1-2 所示。

在表 1-1 的工序 2 中，先车一个工件的一端，紧接着调头装夹，车另一端，对这一个工件来说，工作是连续的，因此是一个工序。如果先车好一批工件的这一端，然后再车这批工件的另一端，这时对每个工件来说，两端的加工是不连续的，因此，即使是在同一台车

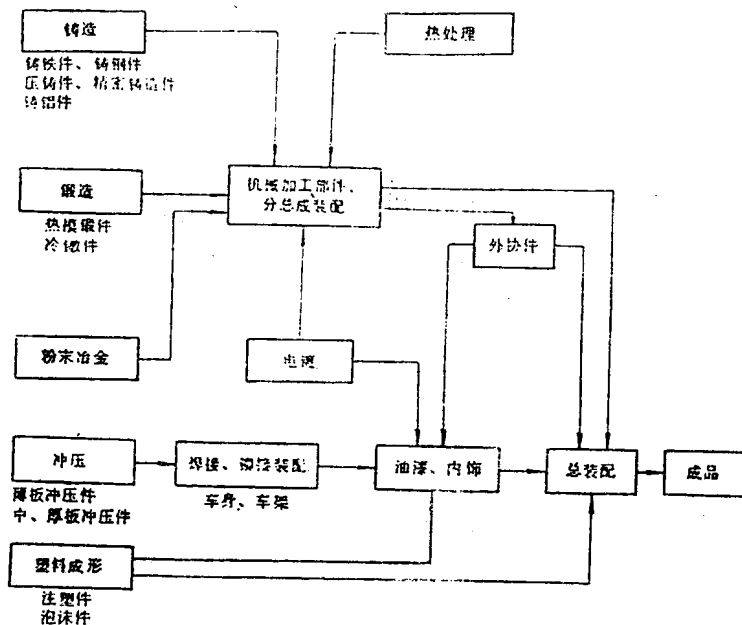


图 1-1 汽车的工艺过程

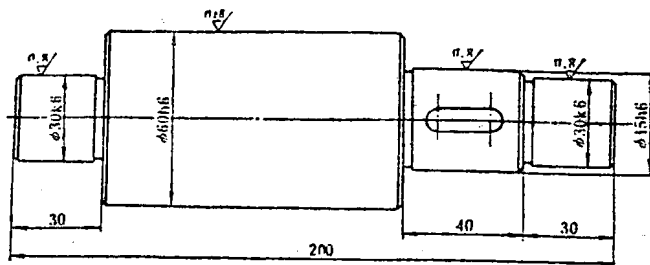


图 1-2 阶梯轴简图

床上加工，也应算作两道工序。

工序是组成工艺过程的基本单元，也是制订生产计划的基本单元。

表 1-1 阶梯轴工艺过程（加工数量较少时）

工序号	工序内容	设备
1	车端面、钻中心孔	卧式车床
2	车外圆、车槽和倒角	卧式车床
3	铣键槽、去毛刺	立式铣床
4	磨外圆	外圆磨床

表 1-2 阶梯轴工艺过程 (加工数量较多时)

工序号	工 序 内 容	设 备
1	两边同时铣端面、钻中心孔	铣端面、钻中心孔机床
2	车左端两外圆、车槽和倒角	多刀半自动车床
3	车右端两外圆、车槽和倒角	多刀半自动车床
4	铣键槽	键槽铣床
5	去毛刺	钳工台
6	磨左端外圆	外圆磨床
7	磨右端各外圆	外圆磨床

2. 安装 工件加工之前,在机床或夹具中占据正确位置的过程称为定位。将定位后的工件予以固定,使其在加工过程中保持定位位置不变的操作称为夹紧。工件定位、夹紧的过程称为装夹。

安装是指工件(或装配单元)经一次装夹后所完成的那一部分工序。一道工序内可能有一次或多次安装。如表 1-1 中的工序 4 磨外圆,必须有两次安装才能完成全部外圆的磨削加工:在第一次安装中,装夹工件右端,磨削左端轴颈,再调头装夹,磨削右端各轴颈。

为了减少装夹误差,节省装夹时间,工件加工中应当尽量减少安装次数。

3. 工位 为了减少工件的装夹次数,当零件的生产数量较大时,经常采用各种移位夹具、回转夹具或回转工作台,使工件在一次装夹中,先后处于几个不同的位置进行加工。

工位是指为了完成一定的工序部分,一次装夹工件后,工件(或装配单元)与夹具或设备的可动部分一起相对刀具或设备的固定部分所占据的每一个位置。如表 1-2 中的工序 1 铣端面钻中心孔就有两个工位。工件经第一个工位铣削两端面后,移动到第二个工位钻两端中心孔。见图 1-3。

4. 工步 工步是指在加工表面(或装配时的连接表面)和加工(或装配)工具不变的情况下,所连续完成的那一部分工序。一道工序内可以有一个或多个工步。例如表 1-2 的工序 4 铣键槽就只有一个工步,而工

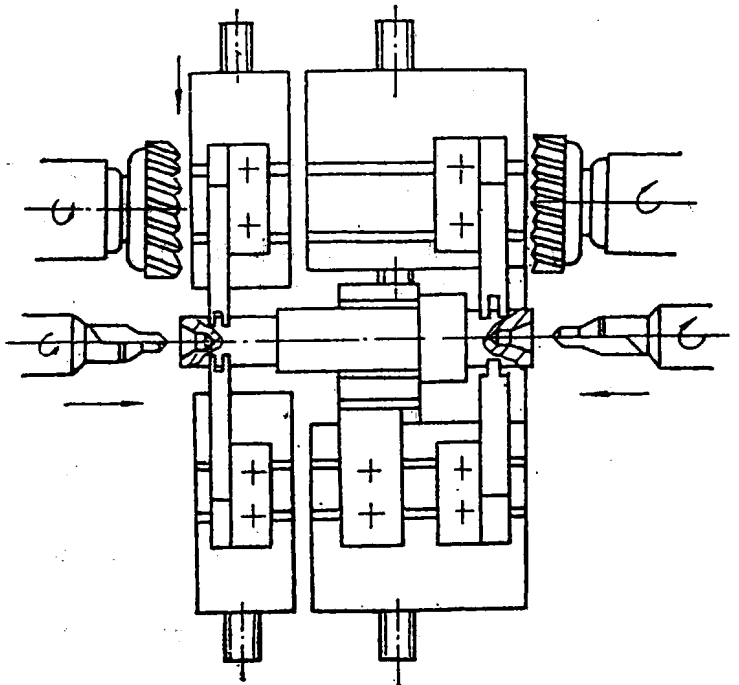


图 1-3 铣端面钻中心孔

序7磨右端各外圆则有三个工步。

在汽车零件的机械加工中,为了提高生产率,经常采用多把刀具同时加工几个表面,这也是一个工步,称为复合工步,如图1-3所示的铣端面钻中心孔,每个工位都是用两把刀具同时铣两端面或钻两端中心孔,每个工位有一个工步,它们都是复合工步。表1-2的工序2、3在多刀半自动车床上用多把刀具同时车削两个外圆,车槽和倒角,也是复合工步。

对于那些连续进行的若干个相同的工步,为简化工艺文件,也将其视为一个工步。如图1-4所示零件上四个 $\Phi 15$ 孔的钻削,可作为一个工步——钻4- $\Phi 15$ 。

5. 走刀 在一个工步内,如果待加工表面需切去的金属层很厚,要分几次切除,则每切削一次为一次走刀。

三、生产纲领、生产类型及其工艺特征

(一) 生产纲领

企业在计划期内应当生产的产品产量和进度计划称为生产纲领。计划期常订为一年,因此生产纲领也称为年产量。

某零件的生产纲领就是包括备品和废品在内的年产量,通常按下列公式计算:

$$N=Qn(1+\alpha)(1+\beta)$$

式中, N ——零件的年生产纲领(件/年)

Q ——汽车的年生产纲领(辆/年)

n ——每辆汽车中该零件的数量(件/辆)

α ——备品的百分率

β ——废品的百分率

(二) 生产类型

生产类型是指企业(或车间,工段,班组,工作地)生产专业化程度的分类。机械制造业的生产可分为三种类型:单件生产、成批生产和大量生产。

1. 单件生产 单个地生产不同结构和不同尺寸的产品,并且很少重复,甚至完全不重复的生产,称为单件生产。例如重型机械的制造,专用设备制造和新产品试制通常属于单件生产。

2. 成批生产 一年中分批地制造相同的产品,制造过程有一定重复性的生产称为成批生产。每批制造的相同产品的数量称为批量。根据批量大小,成批生产又可分为小批生产、中批生产和大批生产。而批量大小则是根据年生产纲领、一年中的批数和生产储备等条件决定的。

每一次投入或产出的同一产品(或零件)的数量称为生产批量,简称批量。批量可根据零件的年产量及一年的生产批数计算确定。

3. 大量生产 当一种产品的制造数量很大,大多数工作地点经常是重复地进行某一种零件的某一道工序的加工时,这种生产称为大量生产。如汽车、拖拉机、轴承的制造多属大量生产。

生产类型是依据产品或零件的类型、复杂程度和年生产纲领来确定的。汽车产品生产

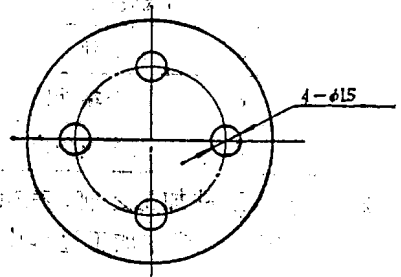


图1-4 钻削圆盘工件上相同的4个孔

类型的划分见表 1-3。应当说明：由于社会对汽车的需求量极大，因此汽车产品的生产类型中没有单件生产。

表 1-3 汽车工业中生产纲领、产品和生产类型关系 (辆)

生产类型		轿 车 (年产量)	载 货 车	
			2~6t (年产量)	8~15t (年产量)
成批生产	小批	2000 以下	1000 以下	500 以下
	中批	2000~20000	1000~100000	500~5000
	大批	20000~50000	10000~50000	5000~10000
大量生产		50000 以上	50000 以上	10000 以上

在同一企业或车间内，可能同时存在着几种生产类型。一个企业的生产类型主要是根据其占主导地位的工艺过程的性质来确定。

(三) 不同生产类型的工艺特征

为了提高企业的经济效益，不同的生产类型，其产品和零件的制造工艺、生产组织形式、所使用的设备与工艺装备也有所不同。表 1-4 列举了汽车制造业不同生产类型的工艺特征。

表 1-4 汽车制造业不同生产类型的工艺特征

项目	大量生产	成批生产	单件生产
加工对象	固定不变	周期性变换	不确定，经常变换
机床	专用、高效机床、组合机床、自动或半自动生产线	通用或专用机床、数控机床或可调自动线	通用机床
机床布置	流水（自动）线布置	成组流水线	机群式布置
工艺装备	专用、高效夹具、复合刀具、成形刀具	通用或专用工装、部分高效率刀具、量具	标准夹具、刀具、量具、辅具
毛坯制造	金属模、机器造型、精密铸造、压铸、模锻、粉末冶金	部分采用金属模铸造、模锻	木模手工造型、自由锻
调整方法	调整法、自动控制法	部分用试切法	试切法
安装方法	全部用夹具安装法	部分用夹具、部分划线找正	划线或直接找正
工人技术水平	动作熟练，调整工技术高	一般	高
工艺文件	详细、齐全	比较详细	简单、工艺过程长
发展趋势	集成制造系统、主动测量	成组技术、柔性系统	加工中心、数控机床

由上表可以看出：成批生产的工艺特征介于单件生产与大量生产的工艺特征之间。其

中；小批生产的工艺特征和单件生产相似；大批生产的工艺特征则与大量生产相似。

四、生产节拍

零件在加工过程中有节奏地、按工序顺序移动的生产线称为流水线，这种生产形式称为流水生产。生产节拍是流水生产中相继完成两件制品之间的时间间隔。整个流水生产线的生产节拍称为总节拍，某工序的生产节拍称为工作节拍。总节拍的计算公式为

$$m = 60H/N \quad (\text{min})$$

式中 H——流水线全年的时间基数。即扣除流水线修理所占用的时间后，能用于生产的小时数。

N——零件的年生产纲领

在大批大量生产中广泛采用流水生产。为了使流水生产线均衡生产，应当使每个工序的工作节拍等于流水生产线的节拍，或为其整数倍。当然，每一工序的工作节拍不可能完全相等，作为一条流水线，可在某些工序中增加设备，在某些工序中保留一定数量的在制品，以保证流水线不间断地生产。

第二节 机械加工工艺规程的编制

规定零件制造工艺过程和操作方法的工艺文件称为机械加工工艺规程。它是反映比较合理的工艺过程和操作技术文件，是机械制造厂最主要的技术文件之一。

一、工艺规程的作用

工艺规程是在总结生产实践经验的基础上，依据工艺理论和必要的工艺试验，经过反复调研、多方案比较后，逐级审查批准的。因此，它既是指导生产的主要技术文件和生产管理的依据，也是有关人员必须严格遵守的工艺纪律。当然，工艺规程也不应是固定不变的，随着工艺技术的不断进步和生产的发展，应该定期对工艺规程进行改进和完善。

二、编制工艺规程的基本原则

制订工艺规程的基本原则是：在保证产品质量的前提下，以最快的速度，最低的成本，将产品制造出来。为此，必须正确处理质量与数量、速度与成本、人与设备之间的辩证关系，选择最优工艺方案，使工艺规程在技术上是先进的，经济上是合理的，并保证良好的劳动条件。

三、编制工艺规程的原始资料

- 1) 产品的装配图样和零件图样。
- 2) 产品验收的质量标准。
- 3) 产品的生产纲领。
- 4) 现有生产条件和资料，如毛坯的制造方法与特征；加工设备及工艺装备；工人的技术水平；专用设备及工艺装备的制造能力等。
- 5) 国内外同类产品工艺技术的发展情况。
- 6) 其它有关文件，如有关劳动保护和环境保护的规定，有关节约能源的规定等。

四、编制工艺规程的步骤

- 1) 分析产品的装配图样和零件图样，确定零件生产纲领和生产类型，进行零件的结构

工艺性分析。

- 2) 确定毛坯的类型及制造方法。
- 3) 拟定工艺路线。
- 4) 确定各工序加工余量, 计算工序尺寸及其公差。
- 5) 确定各工序的设备、刀、夹、量具和辅助工具。
- 6) 确定各工序的切削用量和时间定额。
- 7) 确定各主要工序的技术要求及检验方法。
- 8) 进行技术经济分析, 选择最佳方案。
- 9) 填写工艺文件。

五、工艺规程的格式

常用的工艺规程有工艺过程卡片、工艺卡片、工序卡片、机床调整卡片及检验工序卡片等。

1. 工艺过程卡片 如表 1-5 所示。它是以工序为单位简要说明产品或零、部件的加工(或装配)过程的一种工艺文件。由于对各工序内容不作具体说明, 因此, 多用于生管理与组织工作, 或用于单件小批生产中指导生产。

2. 工艺卡片 如表 1-6 所示。它是按产品的零、部件的某一工艺阶段编制的一种工艺文件。它以工序为单元, 详细说明产品(或零、部件)在某一工艺阶段中的工序号、工序名称、工序内容、工艺参数、操作要求以及采用的设备和工艺装备等。它广泛用于中批生产及小批生产中的关键零、部件。

3. 工序卡片 如表 1-7 所示。它是在工艺过程卡片或工艺卡片的基础上, 按每道工序所编制的一种工艺文件。一般具有工艺简图, 并详细说明该工序的每个工步的加工(或装配)内容、工艺参数、操作要求以及所用设备和工艺装备等。

对机械加工工序卡片中的工艺简图有下列要求:

- 1) 应用细实线画出加工零件的主要轮廓, 用粗实线表明加工表面, 大致按比例绘图。
- 2) 用符号标注定位基准及其所限制的自由度的数目和夹紧位置、夹紧力源。其符号应符合有关标准规定。

3) 标注该工序应保证的工序尺寸及公差、表面粗糙度、形位公差等技术要求。

4) 表示出同时装夹零件的数目, 加工时的排列方式等。

工序卡片用于大批大量生产及中批生产中的关键零、部件。

4. 机床调整卡片 主要用于多工位、多刀加工的工序。卡片中突出标明多刀位置、行程长度及各工位切削参数(刀具参数和切削用量), 以便于调整机床。其格式一般因机床而异。

5. 检验工序卡片 是指指导检验人员对复杂的、高精度的零件进行检验的工艺文件。其主要内容有: 检验项目、精度及技术要求; 检验用的夹具、量具名称、规格、编号; 检验简图, 标明检验时的定位、标定、测量方法及操作程序; 检验对象的抽样规则, 如百分比或抽检间隔件数等。

第三节 零件图样的分析

在制订零件的机械加工工艺规程时，首先要对零件图样进行认真的分析。为了更深刻地理解该零件在产品中的功用、结构特点与技术要求，通常还需要研究与之有关的装配图。对于发现的问题，要会同设计人员一同研究，按规定手续对图样进行修改或补充后，再行制订工艺规程。

分析零件图样时，要注意如下几个问题。

一、零件图样的完整性和正确性

零件图样是制定工艺规程最主要的依据。因此，制订工艺规程时，必须要检查图样是否已把零件的结构与形状表达清楚，尺寸、尺寸公差、形位公差、粗糙度的标注以及技术要求等有无遗漏或错误。

二、确定零件的生产类型

零件的生产类型是制订工艺规程的重要依据。同一产品中的不同零件，其生产类型可能会不同。必须根据产品的生产纲领计算出该零件的生产纲领，从而确定其生产类型及相应的工艺特征。

三、零件结构和结构工艺性的分析与评定

1. 零件的结构分析 在研究零件结构时，首先要分析该零件是由哪些表面构成的，因为表面形状是选择加工方法的基本因素。例如外圆表面一般采用车削或磨削方法加工；内孔表面则多通过钻、扩、铰、镗、车、拉和磨削等方法来获得。此外，还必须注意加工表面的尺寸特征对工艺方案的影响。以内孔加工为例，深孔与浅孔，大孔与小孔的工艺方案有着明显的不同。

在分析零件的结构时，除了要注意零件的各个构成表面本身的特点之外，还要注意各种表面的不同组合所形成的结构特点。在汽车制造业中，通常将各种零件大致分为轴类零件、套类零件、盘环类零件、齿轮类零件、叉架类零件及箱体类零件等类别。结构不同的零件在工艺上有很大差异。即使是相同的几何要素，也可能形成不同类别的零件。例如以内外圆为主的表面，既可组成盘、环类零件，也可组成套筒类零件。对于套筒类零件，既可以是一般的轴套，也可以是形状复杂或刚性很差的薄壁套筒。这些零件在工艺上有着明显的不同。

2. 零件结构工艺性的分析与评定

(1) 零件结构工艺性的分析 零件的结构工艺性是指所设计的零件在满足使用要求的前提下制造的可行性和经济性。零件结构工艺性的涉及面很广，它包括了零件各个制造过程中的工艺性，如零件的铸造、锻造、焊接、冲压、热处理、机械加工、装配工艺性等，对此必须作全面的综合分析。在制订机械加工工艺规程时，主要进行零件切削加工工艺性分析。

机械加工对零件结构工艺性的主要要求及对比实例见表 1-8。